การประยุกต์การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ กรณีศึกษาเครื่องวัดคุณภาพยางรถยนต์

APPLICATION OF PREDICTIVE MAINTENANCE A CASE STUDY OF TIRE UNIFORMITY MACHINE

ประวัติ วีระลีลานนท์[#1]
[#]บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต / สาขาการจัดการอุตสาหกรรม / สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น
[1]e-mail: prawatti@hotmail.com

บทคัดย่อ - **การศึกษานี้ เป็นการประยุกต์การบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยใช้การวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อลดจำนวนการชำรุดเสียหายที่ไม่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้า เป็นกรณีศึกษาโดยใช้เครื่องวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน เพื่อตรวจติดตามสภาพลูกปืนแกนหมุนของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใช้วัดคุณภาพยางรถยนต์ โดยนำค่าที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ISO 10816 ซึ่งเป็นมาตรฐานการประเมินความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เมื่อพบความผิดปกติขึ้นจะเข้าไปจัดการและดำเนินการแก้ไข ก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายที่รุนแรง และเกิดเป็นความสูญเสียอื่น ๆ ตามมา จากการดำเนินกิจกรรมสามารถตรวจพบอาการผิดปกติของเครื่องจักรได้ 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดจากน้ำมันมีการปนเปื้อน และครั้งที่สองเกิดจากลูกปืนหลวมคลอน ซึ่งการรับมือกับปัญหาดังกล่าว ทำให้ลดจำนวนครั้งและมูลค่าความเสียหายจากการชำรุดเสียหายที่ไม่ได้วางแผนให้เป็นศูนย์ได้ คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ ประมาณ 1.58 ล้านบาท แต่การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะทำให้ปัญหานั้นหมดไป ยังต้องอาศัยการบำรุงรักษาอื่นควบคู่ไปด้วย เช่น การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายการบำรุงรักษา สภาพเครื่องจักร งบประมาณด้านการบำรุงรักษา และความพร้อมด้านบุคลากรของบริษัทที่จะเลือกใช้**

คำสำคัญ - **การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์**

Abstract - **This study aims to apply predictive maintenance to industrial machines by the vibration spectrum monitoring with the purpose of reducing the unplanned failure. In this study, the bearing spindle of the tire uniformity testing machine assess with the vibration measuring device, by comparing the result with ISO 10816, which is the standard for evaluating the vibration severity. The assessment help to prevent the failure and to improve the process before it becomes the major failure and lead to the severe loss finally. From this study, we found the 2 failures. First, it was from the contamination of the lubricant. Second, it was from the loose of the bearing spindle. In conclusion, we found that the predictive maintenance could reduce times and costs of the number of unplanned failure to zero. Finally, we can save cost about 1.58 million baht. However, the predictive maintenance is not the best solution for all problems. We should consider breakdown maintenance, corrective maintenance, and preventive maintenance along with the predictive maintenance. This depends on the maintenance policy and plan, the machine type and condition, the maintenance budget and personnel preparation of each company.**

Keywords - **Predictive Maintenance.**

1. บทนำ

ปัจจุบันการบำรุงรักษาเครื่องจักรนั้นมีมากมายหลากหลายวิธี เช่น การซ่อมบำรุงเมื่อขัดข้อง (Breakdown Maintenance) การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) การซ่อมบำรุงรักษาเพื่อแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance) หรือการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) เป็นต้น การเลือกใช้นั้นก็ขึ้นอยู่กับนโยบาย งบประมาณ และความพร้อมด้านบุคคลากรขององค์กรนั้นๆ

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับเครื่องจักร การบำรุงรักษาแบบนี้ เป็นการบำรุงรักษาแบบคาดการณ์ล่วงหน้า โดยใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น เครื่องวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) เครื่องวิเคราะห์คลื่นเสียงความถี่สูง (Acoustic Emission) อุปกรณ์วัดความร้อน (Thermography) การวิเคราะห์คลื่นกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ (Motor Current Analysis) และการวิเคราะห์สารหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Used Lubricant Analysis) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพื่อบอกหรือบ่งชี้ถึงอาการต่างๆ ที่จะเป็นปัญหาของเครื่องจักร เพื่อให้สามารถทำการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขได้ทันท่วงทีก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุดเสียหาย

สำหรับโรงงานกรณีศึกษา เครื่องจักรนับว่าเป็นส่วนสำคัญในการผลิต ระบบการบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ยังไม่สามารถตอบสนองต่อการผลิตในปัจจุบันได้ เมื่อเครื่องจักรที่สำคัญชำรุดเสียหายขึ้น เช่น เครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ (Tire Uniformity Machine) มีการหยุดแบบกระทันหันบ่อยครั้งเนื่องจากลูกปืนแกนหมุนของเครื่องเกิดการชำรุดเสียหาย เป็นความเสียหายที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะชำรุดเสียหายเมื่อใด ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งยอดการผลิต ส่งมอบลูกค้าไม่ทันตามกำหนด พนักงานฝ่ายผลิตเกิดการว่างงานในช่วงที่ฝ่ายบำรุงรักษาดำเนินการซ่อมบำรุง ต้องมีการระดมกำลังช่างซ่อมบำรุงมา

เพื่อรับมือ ทำให้งานอื่นที่ทำอยู่ต้องหยุดชะงัก เพื่อไม่ให้เครื่องจักรหยุดนานเนื่องจากการรออะไหล่ จึงจำเป็นต้องจัดเตรียมอะไหล่ไว้จำนวนมากให้เพียงพอ ทำให้ต้องสูญเสียเงินเป็นจำนวนมากในการจัดซื้อ ทั้งอะไหล่มีราคาแพงและไม่ทราบปริมาณใช้งานที่แน่นอน เป็นต้น ดังนั้น เพื่อเพิ่มศักยภาพและความน่าเชื่อถือในการบำรุงรักษาให้มากขึ้น จึงจำเป็นต้องนำระบบการบำรุงรักษาอื่น เข้ามาเสริมเพื่อให้ระบบการบำรุงรักษาเดิมมีศักยภาพและความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยการศึกษานี้ทำการศึกษาระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงพยากรณ์ โดยใช้เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน เนื่องจากเครื่องจักรส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรที่ทำงานด้วยการหมุนสามารถนำสัญญาณความสั่นสะเทือนมาใช้เพื่อตรวจติดตามอาการเสียของเครื่องจักรก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุดเสียหายแบบกระทันหันได้ [1-7]

2. วิธีการศึกษา

มีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาที่มาของปัญหาและเลือกหัวข้อในการปรับปรุง

ปัญหาการหยุดจากการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบต่อยอดการผลิตในแต่ละวันโดยตรง สำหรับเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษามีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับการผลิตในแต่ละกระบวนการ เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความสำคัญไม่เท่ากัน มีการจัดลำดับความสำคัญของเครื่องจักรไว้ 3 กลุ่ม โดยแบ่งออกเป็นความสำคัญมาก (กลุ่ม A) ความสำคัญปานกลาง (กลุ่ม B) และความสำคัญน้อย (กลุ่ม C) จากข้อมูลเครื่องจักรของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ในหน่วยงานวัดคุณภาพยางรถยนต์เป็นเครื่องจักรที่อยู่ในกลุ่ม A สำคัญมาก มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสินค้าโดยตรง บริษัทกรณีศึกษาจึงได้เลือกเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์นี้ เป็นเครื่องต้นแบบในการดำเนินกิจกรรม

2. ออกแบบขั้นตอนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

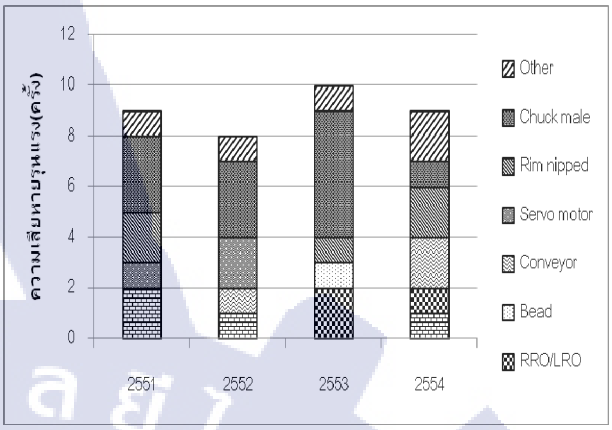
บริษัทกรณีศึกษานี้เลือกการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ด้วยการวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน เพื่อติดตามดูแนวโน้มอาการเสียของลูกปืนแกนหมุน เพราะลูกปืนเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นจะแสดงความผิดปกติออกมาในรูปของความสั่นสะเทือน

3. ผลการศึกษา

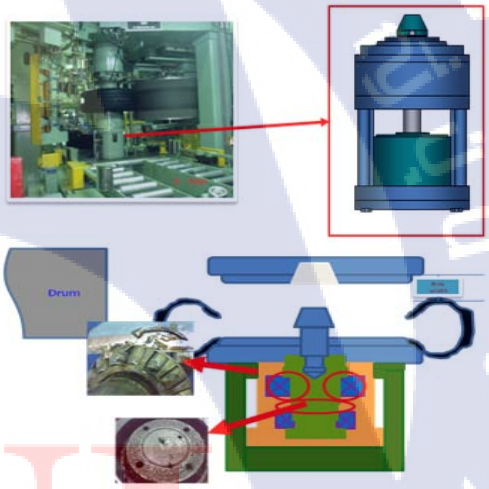
3.1 ผลการศึกษาที่มาของปัญหา และเลือกหัวข้อในการปรับปรุง

สำหรับการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษา แบ่งเป็น 2 กรณี คือ (1) การชำรุดเสียหายทั่วไป จะเริ่มบันทึกเป็นความเสียหายเมื่อมีการหยุดซ่อมบำรุงตั้งแต่ 10 นาที ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 2 ชั่วโมง และ (2) การชำรุดเสียหายรุนแรง จะเริ่มบันทึกเป็นความเสียหายเมื่อเครื่องจักรนั้นหยุดซ่อมบำรุงตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งการชำรุดเสียหายรุนแรงนี้จะส่งกระทบต่อยอดการผลิตเป็นอย่างมาก ทางบริษัทกรณีศึกษาจึงได้ให้ความสำคัญและตั้งเป้าหมายในการลดจำนวนเครื่องจักรที่เกิดการชำรุดเสียหายรุนแรงให้เป็นศูนย์

จากกราฟรูปที่ 1 เป็นการชำรุดเสียหายรุนแรงของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554 พบว่า เครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์มีความเสียหายในส่วนลูกปืนแกนหนุน (Spindle Bearing หรือ Chuck Male) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น แสดงในรูปที่ 2 สำหรับการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถนำมาสรุปเป็นมูลค่าความเสียหายได้ ดังตารางที่ 1 มูลค่าการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้น ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง ปี พ.ศ. 2554 เป็นเงินจำนวน 4,375,000 บาท 3,250,000 บาท 4,458,333 บาท และ 791,667 บาท ตามลำดับ



รูปที่ 1 การชำรุดเสียหายรุนแรงของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554



รูปที่ 2 แกนหมุนเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ที่ชำรุดเสียหาย

ตารางที่ 1 ข้อมูลความเสียหายของลูกปืนแกนหมุนเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง ปี พ.ศ. 2554

ปี พ.ศ.	2551	2552	2553	2554
จำนวนครั้งที่เสีย	3	3	5	1
มูลค่าความเสียหาย, บาท	4,375,000	3,250,000	4,458,333	791,667

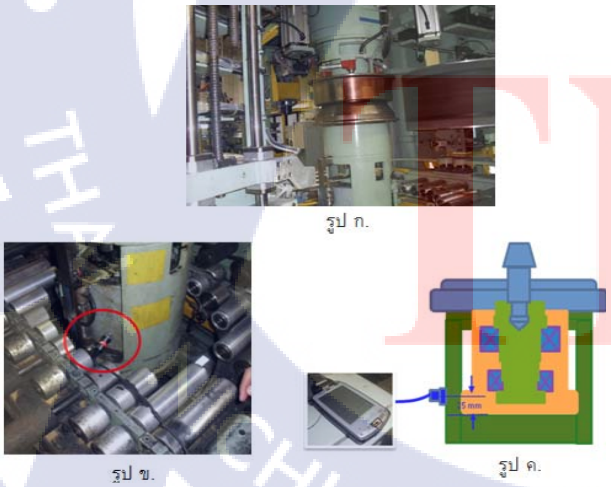
จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ลูกปืนแกนหมุนของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ที่เกิดการชำรุดเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากเครื่องจักรที่มีอายุใช้งานเกิน 2 ปี และเป็นเครื่องจักรชนิดเปลี่ยนริม

(RIM) อัตโนมัติ ลูกปืนนี้ไม่ได้กำหนดระยะเวลาในการเปลี่ยนไว้ เนื่องจากเป็นลูกปืนชนิดพิเศษ มีราคาแพง ซึ่งแต่ละชุดมีราคาประมาณหนึ่งล้านบาท ถ้าเปลี่ยนตามระยะเวลาที่กำหนด อะไหล่ที่เปลี่ยนออกไปยังไม่เสียสามารถใช้ต่อได้อีกระยะหนึ่ง ถ้าเปลี่ยนเร็วเกินไปเป็นการใช้อะไหล่ไม่คุ้มค่า ทำให้ต้องใช้เงินเป็นจำนวนมากในการจัดซื้ออะไหล่ เมื่อพิจารณาแล้วบริษัทกรณีศึกษาจึงได้กำหนดวิธีการบำรุงรักษาลูกปืนแกนหมุนนี้ เป็นแบบซ่อมเมื่อขัดข้องหรือเสียเท่านั้น ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาโดยไม่ได้วางแผน (Unplanned Maintenance) การบำรุงรักษาแบบนี้ผลที่ตามมาคือ ไม่สามารถระบุได้ว่าจะเสียเมื่อใด เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียอันเนื่องมาจากหยุดเครื่องจักรกระทันหัน การหยุดซ่อมแต่ละครั้งใช้เวลานาน บางครั้งอาจต้องรออะไหล่ เนื่องจากไม่ได้จัดเตรียมอะไหล่ไว้เพียงพอ หรือถ้าไม่ต้องการให้เกิดการรออะไหล่ จำเป็นต้องสำรองอะไหล่เป็นจำนวนมาก ระหว่างการซ่อมบำรุงจะเกิดการว่างงานของพนักงานฝ่ายผลิต รวมทั้งงานที่ดำเนินการอยู่ของฝ่ายซ่อมบำรุงต้องเลื่อนออกไปเพราะต้องระดมคนมาช่วยงาน ดังนั้นจะเห็นว่ามูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นคิดเป็นมูลค่าจำนวนมาก

3.2 ผลการออกแบบขั้นตอนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์การสั่นสะเทือน โดยตรวจวัดที่เครื่องจักรเพื่อติดตามสภาพของเครื่องจักรว่าสามารถใช้งานต่อไปได้หรือไม่ เพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายขึ้น

1. การกำหนดตำแหน่งในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ สำหรับตำแหน่งการวัดเป้าหมายคือ ต้องวัดลูกปืนที่ติดตั้งอยู่ และต้องวัดในแนวดิ่ง โดยทำการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนในตำแหน่งที่สูงจากเคสของลูกปืนขึ้นมา 25 มิลลิเมตร เพียงตำแหน่งเดียว (ตำแหน่งในแนวระนาบ H) ดังรูปที่ 3 ส่วนตำแหน่งและแนวนอนอื่นๆ ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากไม่สามารถนำหัววัดไปติดตั้งได้



รูปที่ 3 ตำแหน่งในการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์

2. การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือน

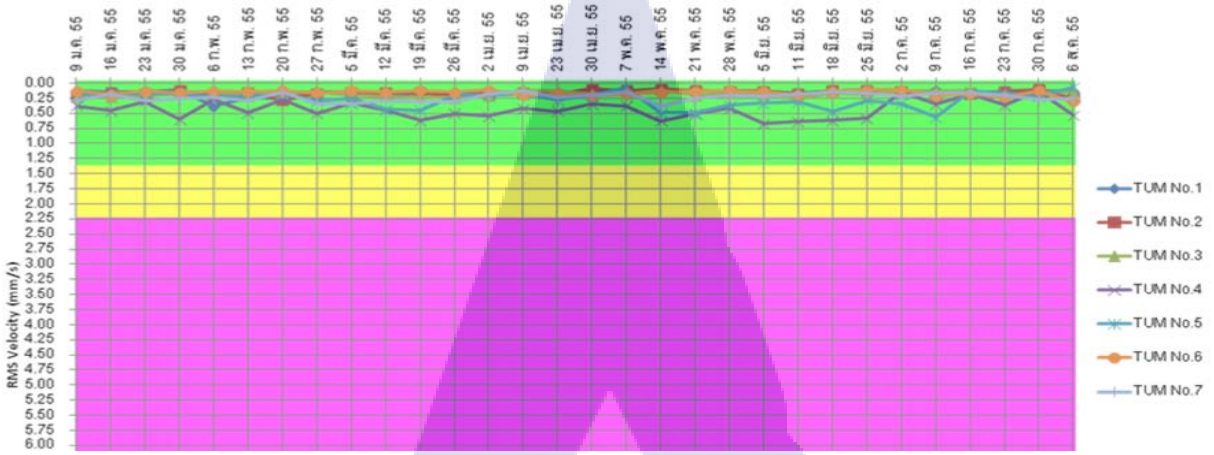
สำหรับการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของโรงงานกรณีศึกษาในช่วงแรกของการทดลองได้กำหนดให้ทำการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือน 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อติดตามแนวโน้มความเสียหายที่เกิดขึ้นและจะกำหนดช่วงวัดที่เหมาะสมในภายหลัง สำหรับเครื่องมือวัดจะใช้ยี่ห้อ SKF MicroVibe P รุ่น MCVL 3850-ML ในการวัด จะต้องได้รับการสอบเทียบตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อยืนยันความถูกต้องของเครื่องมือวัดก่อนนำไปใช้งาน บันทึกค่าที่ได้จากการวัดลงในแบบฟอร์มการวัดค่าความสั่นสะเทือน แล้วนำไปพล็อตกราฟแนวโน้มเพื่อง่ายต่อการติดตาม สำหรับข้อมูลที่ทำการทดลองเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึง 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555 จำนวนเครื่องที่ทดลอง 14 เครื่อง (หมายเลข 1- หมายเลข 14)

จากข้อมูลการวัดสามารถนำมาพล็อตกราฟแนวโน้มเพื่อติดตามอาการผิดปกติของลูกปืนแกนหมุนเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ได้ดังรูปที่ 4 และ 5 จากกราฟแนวโน้มเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน ISO 10816 พบว่าเครื่องจักรส่วนใหญ่อยู่ในโซนสีเขียวเป็นสภาวะการทำงานปกติ แต่เครื่องหมายเลข 8 มีความผิดปกติเกิดขึ้น ในสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนพฤษภาคม เส้นกราฟอยู่ในโซนสีชมพู เป็นโซนที่ต้องเข้าไปตรวจเช็คและแก้ไข หลังจากเข้าไปตรวจสอบ พบว่าน้ำมันมีความสกปรก พบสิ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำมัน จึงได้เปลี่ยนน้ำมันลูกปืนใหม่ ทำให้เครื่องจักรกลับเข้าสู่สภาวะการทำงานปกติอีกครั้ง และในสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคม มีแนวโน้มเข้าใกล้โซนสีเหลือง ตรวจพบลูกปืนเกิดการหลวมคลอน หลังจากขัดอัดให้แน่น เครื่องจักรจึงกลับเข้าสู่สภาวะการทำงานตามปกติ

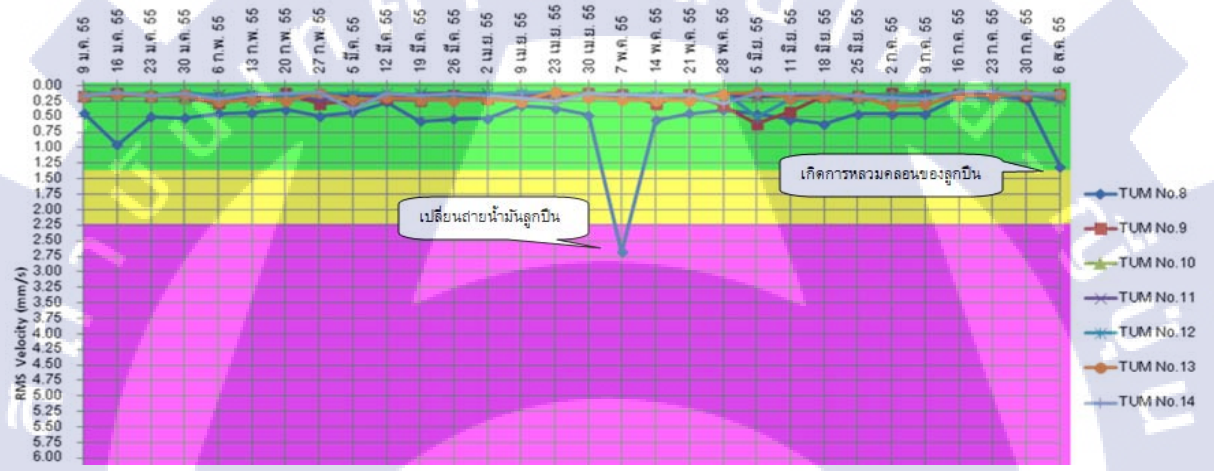
จากข้อมูลความเสียหายที่พบทั้งสองครั้ง ถ้าไม่ได้ดำเนินการแก้ไขใดๆ ก็อาจกลายเป็นปัญหาใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งใช้เวลาในการแก้ไขไม่น้อยกว่า 9.5 ชั่วโมง ทำให้ประโยชน์ที่ได้รับจากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

มูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	
จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวัน	24 ชั่วโมง
จำนวนชั่วโมงที่ชำรุดเสียหายทั้งสองครั้ง	19 ชั่วโมง
ยางรถยนต์ที่ผลิตต่อชั่วโมง	2,000 เส้น
ราคายางเฉลี่ยต่อเส้น	1,000 บาท
มูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	1,583,333 บาท



รูปที่ 4 แนวโน้มการสั่นสะเทือนของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ หมายเลข 1-7
ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555



รูปที่ 5 แนวโน้มการสั่นสะเทือนของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ หมายเลข 8-14
ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555

4. สรุปผลการศึกษา

ระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มความน่าเชื่อถือให้แก่เครื่องจักร สามารถตรวจติดตามแนวโน้มความผิดปกติของเครื่องจักร ดำเนินการแก้ไขก่อนที่เครื่องจักรนั้นจะเกิดการชำรุดเสียหายแบบกระทันหันหรือไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้าได้ สำหรับโรงงานกรณีศึกษาได้เริ่มนำระบบการบำรุงรักษานี้มาทดลองใช้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 พบว่า สามารถตรวจวัดสัญญาณความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นได้ ทำให้รับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้นได้เร็วขึ้น เช่น เข้าไปเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น เมื่อน้ำมันมีการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก หรือตั้งศูนย์เครื่องจักรใหม่เมื่อเครื่องจักรนั้นหลวมคลอน เป็นต้น เพื่อให้เครื่องจักรที่ผิดปกติเพียงเล็กน้อยเหล่านั้นกลับเข้าสู่การทำงานที่ปกติต่อไป แต่ถ้าไม่ทราบถึงแนวโน้มดังกล่าวส่งผลให้จัดการล่าช้า จะทำให้ลุกลามกลายเป็นปัญหาที่รุนแรงขึ้นได้

ผลของการดำเนินกิจกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึง ปี พ.ศ. 2556 มีผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ ไม่พบปัญหาการหยุดเสียกระทันหันของเครื่องตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ขึ้น ทำให้สามารถลดความสูญเสียจากการชำรุดเสียกระทันหันให้เป็นศูนย์ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ ประมาณ 1.58 ล้านบาทต่อปี

เอกสารอ้างอิง

[1] โกศล ดีศีลธรรม. (2547). ***การจัดการบำรุงรักษาสำหรับงานอุตสาหกรรม***. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี.

[2] ชาญยุทธ ชิ้มสกุล. *การออกแบบระบบซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)*. วิทยานิพนธ์ ค.อ.ม. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม). เพชรบุรี : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, (2548).

3] ต่อพงษ์ พึ่งจิตร. *การปรับปรุงค่าอัตราการเดินเครื่องจักรของกระบวนการผลิตผงคาร์บอนแบล็ค โดยลดความสูญเสียหลัก ตามแนวทางการบำรุงรักษา*

ตามสภาพ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (การพัฒนางานอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, (2553).

[4] ธารารินอร่ามเจริญ. *การวัดสมรรถนะระบบการจัดการซ่อมบำรุงรักษา*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2543).

[5] นฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรรวม โดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2551).

[6] ประดิษฐ์ หมู่เมืองสอง ; และ สุชญาน หรรษสุข.(2550). ***การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน***. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[7] หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2552). ***การตรวจสอบความสั่นสะเทือนเครื่องจักร***. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.